

PAT-NO: JP408078309A
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 08078309 A
TITLE: MEASURING METHOD OF DISTORTION
PUBN-DATE: March 22, 1996

INVENTOR-INFORMATION:
NAME
OTA, KAZUYA

ASSIGNEE-INFORMATION:
NAME COUNTRY
NIKON CORP N/A

APPL-NO: JP06212433
APPL-DATE: September 6, 1994

INT-CL (IPC): H01L021/027, G01N021/88 , G03F007/20 , H01L021/66

ABSTRACT:

PURPOSE: To compute distortion with high accuracy without accumulating an error on the measurement of the quantity of the **positional** displacement of a measuring mark image when the **distortion of a projection** optical system is evaluated on the basis of a difference method.

CONSTITUTION: The pattern of a test reticle is **exposed** on a wafer (a step 101), second **exposure** is conducted at a place displaced in the (x) direction on the wafer (a step 103), and third **exposure** is performed at a place displaced in the (y) direction on the wafer (a step 104). The quantity of the positional displacement of a box-in-box mark image formed by multiple **exposure**, the difference of distortion, is measured (a step 106), the values of weights

$w_{xi/j}$, $w_{yi/SB}$, $c_{j/SB}$ applied to each difference of distortion are determined (a step 107), and the X component of distortion is obtained by loading addition by using determined weights (a step 108).

COPYRIGHT: (C) 1996, JPO

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-78309

(43)公開日 平成8年(1996)3月22日

(51)Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/027				
G 0 1 N 21/88	E			
G 0 3 F 7/20	5 2 1			
H 0 1 L 21/66	J	7735-4M		
H 0 1 L 21/ 30 5 1 6 A				
審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 14 頁)				

(21)出願番号 特願平6-212433

(22)出願日 平成6年(1994)9月6日

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 太田 和哉

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

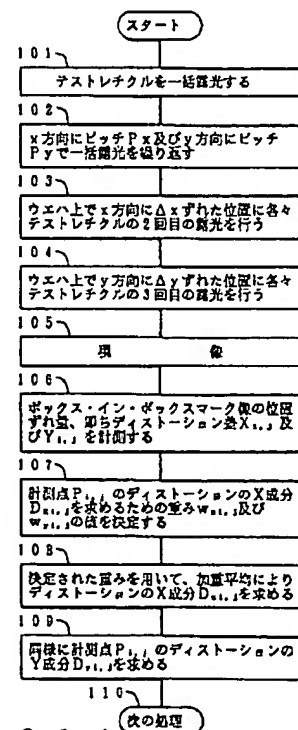
(74)代理人 弁理士 大森 聡

(54)【発明の名称】 ディストーション計測方法

(57)【要約】

【目的】 差分法に基づいて投影光学系のディストーションを評価する際に、計測マーク像の位置ずれ量の計測誤差を累積させることなく高精度にディストーションを算出する。

【構成】 テストレチクルのパターンをウエハ上に露光した後(ステップ101)、ウエハ上でx方向にずれた位置に2回目の露光を行い(ステップ103)、ウエハ上でy方向にずれた位置に3回目の露光を行う(ステップ104)。多重露光により形成されたボックス・イン・ボックスマーク像の位置ずれ量、即ちディストーション差を計測し(ステップ106)、各ディストーション差に付与する重み $w_{x1,j}$ 、 $w_{y1,j}$ の値を決定し(ステップ107)、決定された重みを用いて加重加算によりディストーションのX成分を求める(ステップ108)。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1面上のパターンの像を第2面上に投影する投影光学系のディストーションの計測方法において、

互いに異なる第1の方向及び第2の方向にそれぞれ等間隔で評価用パターンが形成され、該評価用パターンは前記第1の方向に所定間隔で第1の主尺と第1の副尺とが配置されると共に、前記第2の方向に所定間隔で第2の主尺と第2の副尺とが配置されたものである評価用マスクを、前記第1面上に配置し、前記第2面上に感光性の基板を配置し、前記評価用マスクのパターンの像を前記投影光学系を介して前記基板上に投影する第1工程と；前記評価用マスクと前記基板とを前記第1の方向に対応する方向に相対的に所定間隔だけずらした後、前記評価用マスクのパターンの像を前記投影光学系を介して前記基板上に投影する第2工程と；前記評価用マスクと前記基板とを前記第2の方向に対応する方向に相対的に所定間隔だけずらした後、前記評価用マスクのパターンの像を前記投影光学系を介して前記基板上に投影する第3工程と；前記基板上の前記第1工程及び第2工程で二重露光が行われた複数の位置のそれぞれにおいて、前記第1工程及び第2工程での露光によって形成された前記第1の主尺の像と前記第1の副尺の像との相対的な位置ずれ量に応じた計測値を求める第4工程と；前記基板上の前記第1工程及び第3工程で二重露光が行われた複数の位置のそれぞれにおいて、前記第1工程及び第3工程での露光によって形成された前記第2の主尺の像と前記第2の副尺の像との相対的な位置ずれ量に応じた計測値を求める第5工程と；前記基板上で所定の計測方向に対してディストーションを計測すべき計測点、及びディストーション計測の基準となる計測点に関して前記第4工程及び第5工程で求められた複数の計測値にそれぞれ重みを付与し、該複数の重みの和が所定の値になるという条件下で、前記第4工程及び第5工程で求められた計測値の計測誤差の前記複数の重みを用いた加重二乗加算結果が最小になるように前記複数の重みを定める第6工程と；該第6工程で求められた複数の重みを用いて、前記第4工程及び第5工程で求められた計測値の加重加算を行って前記ディストーションを計測すべき計測点における前記所定の計測方向のディストーションを求める第7工程と；を有することを特徴とするディストーション計測方法。

【請求項2】 前記第4工程において、前記相対的な位置ずれ量のそれぞれから前記複数の相対的な位置ずれ量の平均値を差し引いて得られた結果を前記計測値とし、前記第5工程において、前記相対的な位置ずれ量のそれぞれから前記複数の相対的な位置ずれ量の平均値を差し引いて得られた結果を前記計測値とし、前記第7工程において、前記ディストーションを計測すべき計測点における2次以上のディストーションを求め

2

ることを特徴とする請求項1記載のディストーション計測方法。

【請求項3】 前記第4工程において、前記相対的な位置ずれ量のそれぞれから前記複数の相対的な位置ずれ量の平均値及び線形成分を差し引いて得られた結果を前記計測値とし、

前記第5工程において、前記相対的な位置ずれ量のそれぞれから前記複数の相対的な位置ずれ量の平均値及び線形成分を差し引いて得られた結果を前記計測値とし、

10 前記第7工程において、前記ディストーションを計測すべき計測点における3次以上のディストーションを求めることを特徴とする請求項1記載のディストーション計測方法。

【請求項4】 前記ディストーションを計測すべき計測点、及びディストーション計測の基準となる計測点以外の任意の位置に関して、前記第1の方向に隣接する2つの位置で前記第4工程で求められた計測値に付与される重みをそれぞれ w_{x1} 及び w_{x2} として、前記第2の方向に隣接する2つの位置で前記第5工程で求められた計測値に付与される重みをそれぞれ w_{y1} 及び w_{y2} としたとき、

$$-w_{x1} + w_{x2} + w_{y1} - w_{y2} = 0$$

20 の関係が満たされることを特徴とする請求項1、2又は3記載のディストーション計測方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、投影光学系のディストーション計測方法に関し、例えば半導体素子、液晶表示素子又は薄膜磁気ヘッド等をリソグラフィ工程で製造する際に使用される投影露光装置に装着される投影光学系のディストーション（倍率誤差、投影像の歪曲収差等）特性を計測する際に適用して好適なものである。

【0002】

【従来の技術】従来より、半導体素子等をリソグラフィ工程で製造する際に、レチクル（又はフォトリソマスク等）のパターン像を投影光学系を介してフォトリソレジストが塗布されたウエハ（又はガラスプレート等）上に露光する投影露光装置が使用されている。斯かる投影露光装置の投影光学系に要求される結像特性の許容範囲は極めて厳しいものである。その結像特性の中で、特に投影光学系のディストーション特性（倍率誤差及び投影像の歪曲収差を含む結像特性）については、その投影光学系を投影露光装置に組み込んだ状態で最も良好になるように調整が行われる。最近の投影光学系ではディストーションを10nm程度以下に抑えることが要求されているため、ディストーション特性を高分解能で且つ高精度に計測する計測方法として、本出願人より所謂差分法による計測方法が提案されている。

【0003】図9を参照して、その差分法による計測方法につき説明する。この場合、計測方向をX方向とし

3

x_2, \dots における実際のディストーション $D(x_i)$ は図9(a)の曲線1で表されるものとする。この曲線1は、例えばX方向に所定ピッチで配列された計測パターン像のウエハ(感光性の基板の一例)上での位置ずれ量を表すものである。

【0004】次に、そのウエハが載置されているステージ(ウエハステージ)を駆動することにより、そのウエハをX方向に Δa だけステップングしてから、それら計測パターン像をそのウエハ上に二重露光すると、この2回目に露光された計測パターン像のディストーション $D(x_i)$ は、図9(b)の破線の曲線2で示すように、1回目のディストーションを-X方向に Δa だけ移動したことになる。そこで、その二重露光されたウエハを現像した後、高精度なレジストレーション測定機(座標測定機)を用いて計測パターン像の位置ずれ量を計測する。具体的に、図9(c)に示すように、ウエハ上の各計測点 x_0, x_1, x_2, \dots において、1回目に露光された計測パターン像と2回目に露光された計測パターン像との位置の差 $\Delta D(x_i)$ を求める。この差 $\Delta D(x_i)$ に $(\Delta x / \Delta a)$ を乗ずることにより、ディストーション $D(x_i)$ の差分値(微分値) $d(x_i)$ が求められる。

【0005】そこで、例えば原点(x_0)を基準として計測点 x_i における計算上のディストーション $F(x_i)$ (図9(d)の曲線3)を求めるには、計測点 $x_0 \sim x_i$ までの差分値 $d(x_i)$ を積算すればよい。即ち、添字 j に関する0から $i-1$ までの和を Σ で表すものとして、ディストーション $F(x_i)$ は次のように表される。

$$F(x_i) = \Sigma d(x_i) = \{\Sigma \Delta D(x_i)\} \cdot \Delta x / \Delta a \quad 30$$

これにより、実際のディストーション $D(x_i)$ が近似的に算出される。言い替えると、その差分法による計測方法は、投影光学系の露光フィールド内の近接した位置の間でのディストーションの差を順次求め、基準点(例えば露光フィールドの中心位置)から計測位置までのディストーションの差を積算し、この積算値をその計測位置のディストーションとするものである。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】上述のように、従来の差分法によれば、多重露光により形成された計測パターン像の位置ずれ量がレジストレーション測定機等により高精度に計測されている場合には、高精度に投影光学系のディストーションが計測できる。しかしながら、実際にはそのレジストレーション測定機等には或る程度の計測誤差があるため、計測パターン像の位置ずれ量の計測結果にもそれぞれ所定の計測誤差が含まれている。従って、単に差分法を適用すると、例えば基準点から離れた計測点ほど多数の計測値が加算されることにより、基準点から離れた計測点でのディストーションの計測誤差が

4

許容値を超える恐れがあった。

【0008】また、差分法ではウエハステージを駆動してウエハをステップングさせて多重露光を行うため、多重露光を行う際のウエハステージの位置決め誤差がそのままディストーションの計測結果に対する誤差となる。従って、より高精度にディストーションを計測するには、ウエハステージの位置決め誤差を低減させることが必要である。

【0009】本発明は斯かる点に鑑み、多重露光により形成された計測マーク像の位置ずれ量の計測結果に基づいて投影光学系のディストーションを算出するディストーション計測方法において、その位置ずれ量の計測誤差を累積させることなく高精度にディストーションを算出することを目的とする。更に本発明は、位置決め用のステージを駆動して感光性の基板の位置をずらしながらその基板上に計測マーク像を多重露光し、この計測マーク像の位置ずれ量を計測し、この位置ずれ量の計測結果に基づいて投影光学系のディストーションを算出するディストーション計測方法において、その位置ずれ量の計測誤差を累積させることなく、且つそのステージの位置決め誤差の影響を低減させて高精度にディストーションを算出することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明によるディストーション計測方法は、第1面上のパターンの像を第2面上に投影する投影光学系(13)のディストーションの計測方法において、互いに異なる第1の方向(X方向)及び第2方向(Y方向)にそれぞれ等間隔で評価用パターン(27)が形成され、評価用パターン(27)はその第1の方向に所定間隔で第1の主尺(28)と第1の副尺(29)とが配置されると共に、その第2の方向に所定間隔で第2の主尺(30)と第2の副尺(31)とが配置されたものである評価用マスク(11)を、その第1面上に配置し、その第2面上に感光性の基板(14)を配置し、評価用マスク(11)のパターンの像を投影光学系(13)を介して基板(14)上に投影する第1工程と(ステップ101)、その評価用マスクとその基板とをその第1の方向に対応する方向に相対的に所定間隔だけずらした後、その評価用マスクのパターンの像を投影光学系(13)を介してその基板上に投影する第2工程(ステップ103)と、その評価用マスクとその基板とをその第2の方向に対応する方向に相対的に所定間隔だけずらした後、その評価用マスクのパターンの像を投影光学系(13)を介してその基板上に投影する第3工程(ステップ104)と、を有する。

【0011】更に本発明は、その基板(14)上のそれら第1工程及び第2工程で二重露光が行われる複数の位置において、それぞれそれら第1工程及び第2工程での露光によって形成されたその第1の主尺の像(28W)とその第1の副尺の像(29W)との相対的な位置ずれ

量 $X_{i,j}$ に応じた計測値を求める第4工程(ステップ106)と、その基板(14)上のそれら第1工程及び第3工程で二重露光が行われる複数の位置において、それぞれそれら第1工程及び第3工程での露光によって形成されたその第2の主尺の像(30W)とその第2の副尺の像(31W)との相対的な位置ずれ量 $Y_{i,j}$ に応じた計測値を求める第5工程(ステップ106)と、所定の計測方向(X方向)に対してディストーションを計測すべき計測点、及びディストーション計測の基準となる計測点に関して前記第4工程及び第5工程で求められた計測値にそれぞれ重み $w_{x,i,j}$ 、 $w_{y,i,j}$ を付与し、これら複数の重みの和が所定の値(例えば1)になるという条件下で、それら第4工程及び第5工程で求められた計測値の計測誤差の複数の重み $w_{x,i,j}$ 、 $w_{y,i,j}$ を用いた加重二乗加算結果が最小になるように複数の重み $w_{x,i,j}$ 、 $w_{y,i,j}$ を定める第6工程(ステップ107)と、この第6工程で求められた複数の重み $w_{x,i,j}$ 、 $w_{y,i,j}$ を用いて、それら第4工程及び第5工程で求められた計測値の加重加算を行ってそのディストーションを計測すべき計測点におけるその所定の計測方向のディストーションを求め

る第7工程(ステップ108)とを有するものである。
【0012】この場合、第4工程(ステップ106)において、それら相対的な位置ずれ量 $X_{i,j}$ のそれぞれからそれら位置ずれ量の平均値 $\langle X_{i,j} \rangle$ を差し引いて得られた結果を計測値 $X'_{i,j}$ とし、第5工程(ステップ106)において、それら相対的な位置ずれ量 $Y_{i,j}$ のそれぞれからそれら位置ずれ量の平均値 $\langle Y_{i,j} \rangle$ を差し引いて得られた結果 $Y'_{i,j}$ をその計測値とすることにより、第7工程(ステップ108)において、そのディストーションを計測すべき計測点における2次以上の

ディストーションを求めるようにしてもよい。
【0013】また、第4工程(ステップ106)において、それら相対的な位置ずれ量 $X_{i,j}$ のそれぞれからそれら位置ずれ量の平均値及び線形成分を差し引いて得られた結果を計測値 $X''_{i,j}$ とし、第5工程(ステップ106)において、それら相対的な位置ずれ量 $Y_{i,j}$ のそれぞれからそれら位置ずれ量の平均値及び線形成分を差し引いて得られた結果を計測値 $Y''_{i,j}$ とすることにより、第7工程(ステップ108)において、そのディストーションを計測すべき計測点における3次以上の

ディストーションを求めるようにしてもよい。
【0014】更に、そのディストーションを計測すべき計測点、及びディストーション計測の基準となる計測点以外の任意の位置に関して、その第1の方向に隣接する2つの位置でその第4工程で求められた計測値に付与される重みをそれぞれ w_{x1} 及び w_{x2} として、その第2の方向に隣接する2つの位置でその第5工程で求められた計測値に付与される重みをそれぞれ w_{y1} 及び w_{y2} としたとき、次の(A1)式の条件が満たされることが望ましい。

【0015】

$$-w_{x1} + w_{x2} + w_{y1} - w_{y2} = 0 \quad (A1)$$

【0016】

【作用】斯かる本発明によれば、従来の差分法を更に発展させた方法によりディストーション計測が行われる。即ち、先ず各計測点において図6に示すようにレジストレーション測定機(座標測定機)等により、主尺の像(28W、30W)と副尺の像(29W、31W)との相対的な位置ずれ量が計測される。この後、従来の差分法では、所定の基準点からディストーションの計測点までの所定の経路に沿ってその相対的な位置ずれ量を加算していたため、その経路が長くなるに従って計測誤差が累積されていた。

【0017】これに対して本発明では、任意の計測点で例えばX方向のディストーションを求める際に、第4工程及び第5工程で求められた計測値のX成分にそれぞれ重み $w_{x,i,j}$ 、 $w_{y,i,j}$ が付与される。そして、重み $w_{x,i,j}$ 、 $w_{y,i,j}$ の総和が例えば1になるという条件下で計測誤差の総和が最小になるように重み $w_{x,i,j}$ 、 $w_{y,i,j}$ が決定され、これら重み $w_{x,i,j}$ 、 $w_{y,i,j}$ を用いて各計測値のX成分を加重加算することによりX方向のディストーションが算出される。従って、各計測点でのX方向のディストーションを算出する際に、それぞれ計測誤差の総和が最小になるように定められた重みを用いて全ての計測値のX成分が使用されるため、基準点から離れた計測点ほど計測誤差が累積されることはない。

【0018】また、第4工程及び第5工程において、主尺像と副尺像との相対的な位置ずれ量をそのまま計測値とする場合には、通常のディストーションが求められる。一方、第4工程及び第5工程において、計測された相対的な位置ずれ量(レジストレーション測定結果)から平均値を差し引いた結果を計測値とする場合には、多重露光を行う際のステージ(ウエハステージ等)の位置決め誤差の内の0次成分(平均値)、及び1次成分(線形成分)が完全に除去される。また、倍率誤差も除去され、2次以上のディストーション成分が高精度に求められる。

【0019】更に、第4工程及び第5工程において、計測された相対的な位置ずれ量(レジストレーション測定結果)から平均値及び線形成分を差し引いた結果を計測値とする場合には、多重露光を行う際のステージの位置決め誤差の内の0次成分～2次成分が完全に除去される。従って、3次以上のディストーション成分が高精度に求められる。

【0020】また、(A1)式の条件は、任意の計測点でのディストーションは、ディストーション計測の基準となる計測点以外の任意の点のディストーションがどのような値でも、全くその影響を受けないことを表している。

【0021】

【実施例】以下、本発明によるディストーション計測方法の一実施例につき図1～図8を参照して説明する。本実施例は、ステッパ型縮小投影露光装置に装着される投影光学系のディストーションを計測する場合に本発明を適用したものである。図1は本実施例の計測方法が適用される投影露光装置を示し、この図1において、転写用の回路パターン形成されたレチクル11がレチクルステージ12上に載置され、不図示の照明光学系からの露光用の照明光IL（水銀ランプのi線（波長365nm）、KrFエキシマレーザ光（波長248nm）等）がレチクル11上に照射される。照明光ILのもとで、レチクル11上のパターンが投影光学系13を介してウエハ14上のフォトリソ層に縮小投影される。投影光学系13の投影倍率 β は例えば1/5である。

【0022】また、ウエハ14は回転自在なウエハテーブル15を介してウエハステージ上に保持されている。ここで、投影光学系13の光軸AXに平行にZ軸を取り、Z軸に垂直な平面内で図2の紙面に平行にX軸を、図2の紙面に垂直にY軸を取る。この場合、レチクルステージ12は、X方向、Y方向、及び回転方向（ θ 方向）にレチクル11の位置を調整するものであり、ウエハステージは、Z方向にウエハ14の位置を調整するZステージ16、X方向にウエハ14の位置決めを行うXステージ17、及びY方向にウエハ14の位置決めを行うYステージ18等より構成されている。

【0023】Zステージ16上には干渉計用のL字型の移動鏡9が設置され、X軸用の干渉計20及びY軸用の干渉計（不図示）と、その移動鏡9とによって、Zステージ16のX座標及びY座標が常時例えば0.01 μ mの分解能で高精度にモニタされている。このようにモニタされた結果に応じて、Xステージ17は送りねじ24を介して駆動モータ23により駆動され、Yステージ18は送りねじ22を介して駆動モータ21により駆動される。X軸用の干渉計20及びY軸用の干渉計によりそれぞれモニタされるX座標及びY座標よりなる座標系が、ステージ座標系（X、Y）である。

【0024】更に、投影光学系13の側面にオートフォーカス系の送光系25及び受光系26が配置され、送光系25から射出された光ビームが投影光学系13の光軸AXに対して斜めにウエハ14の表面に集光され、その表面に例えばスリット像が投影される。そして、そのスリット像からの反射光が、受光系26内で集光され、受光系26内の受光素子上にそのスリット像が再結像され、その受光素子からそのスリット像の横ずれ量に応じたフォーカス信号が出力される。ウエハ14の表面がZ方向に変位すると、受光系26内で再結像されるスリット像の横ずれ量に変化する。そこで、予めウエハ14の表面が投影光学系13の結像面に合致しているときにそのフォーカス信号が所定の基準値になるようにキャリブレーションを行っており、それ以後はそのフォーカス信

号がその基準値になるようにZステージ16を駆動することにより、オートフォーカスが行われる。

【0025】次に、本実施例で投影光学系13のディストーションを計測する方法の一例につき図1のフローチャート等を参照して説明する。この場合、投影光学系13の露光フィールドを20mm \times 20mmの正方形とし、その露光フィールド上に縦横2mm間隔で11行 \times 11列のマトリックス状に配列された各計測点におけるディストーションを測定するものとする。

【0026】図7(a)は、その露光フィールド上の11行 \times 11列のマトリックス状の計測点を示し、図7(a)において、各計測点を $P_{i,j}$ で表し（ $i=1\sim11$, $j=1\sim11$ ）、各計測点のディストーションを $D_{i,j}$ で表す。更に、このディストーション $D_{i,j}$ のX成分及びY成分を（ $Dx_{i,j}$, $Dy_{i,j}$ ）で表す。そのディストーションを計測するため、所定の評価用マークが形成されたテストレチクルを使用する。

【0027】図3は、本実施例で使用されるテストレチクル11Tを示し、分かり易くするため、図3はテストレチクル11Tを図2の投影光学系13を介してウエハ14上に投影した状態でのパターン配置を表している。即ち、テストレチクル11Tの遮光帯40内のパターン領域内には11行 \times 11列のマトリックス状に評価用マークとしての差分パターンユニット27が配置されている。各差分パターンユニット27間のX方向及びY方向の間隔はウエハ上に投影された状態でそれぞれ2mmである。

【0028】図4は、差分パターンユニット27の詳細な構成を示し、この図4において、差分パターンユニット27には、主尺としての外側のボックスマーク28、及び副尺としての内側のボックスマーク29がX方向に間隔dで形成され、主尺としての外側のボックスマーク30、及び副尺としての内側のボックスマーク31がY方向に間隔dで形成されている。内側のボックスマーク29、31はそれぞれ外側のボックスマーク28、30の内側に収まる大きさである。この場合、ボックスマーク28、29はX方向にウエハステージをステップングさせて露光する際の差分パターンユニット27の位置ずれを計測するためのマークであり、ボックスマーク30、31はY方向にウエハステージをステップングさせて露光する際の差分パターンユニット27の位置ずれを計測するためのマークである。

【0029】次に、図1のステップ101において、図3のテストレチクル11Tを図2のレチクルステージ12上に載置した状態で、投影光学系13を介してウエハ14上にそのテストレチクル11Tのパターン像を一括露光する。次に、ステップ102において、ウエハ14上にX方向にピッチ P_x 、及びY方向にピッチ P_y でテストレチクル11Tを順次一括露光する。ピッチ P_x 及び P_y はそれぞれ20mmより大きく設定されている。

【0030】この結果、図5に示すように、ウエハ14上のショット領域32A～32Fにそれぞれ図3のテストストレッチル11Tのパターン像が露光される。ここで、ステージ座標系(X, Y)に平行にウエハ14上にウエハ座標系(x, y)を取り、最初に露光されたショット領域32Aの中心のウエハ座標系(x, y)での座標を(x_0 , y_0)とする。この場合、ウエハ14のショット領域32A～32Fの中心のウエハ座標系(x, y)での座標は($x_0 + N \cdot Px$, $y_0 + M \cdot Py$)となる。整数Nの範囲は0～2であり、整数Mの範囲は0又

【0031】次に、ステップ103において、ウエハ14上でショット領域32A～32Fからそれぞれx方向に Δx だけずれた位置に図3のテストストレッチル11Tのパターン像を露光する。これを「X露光」と呼び、これにより、図5に示すように、ウエハ座標系上で中心座標がそれぞれ($x_0 + \Delta x + N \cdot Px$, $y_0 + M \cdot Py$)で表されるショット領域33A～33Fにテストストレッチル11Tのパターン像が露光される。

【0032】次に、ステップ104において、ウエハ14上でショット領域32A～32Fからそれぞれx方向に Δy だけずれた位置に図3のテストストレッチル11Tのパターン像を露光する。これを「Y露光」と呼び、これにより、図5に示すように、ウエハ座標系上で中心座標がそれぞれ($x_0 + N \cdot Px$, $y_0 + \Delta y + M \cdot Py$)で表されるショット領域34A～34Fにテストストレッチル11Tのパターン像が露光される。

【0033】このときのx方向への位置ずれ量 Δx 、及びy方向への位置ずれ量 Δy は共通に次式で表される。
 $\Delta x = \Delta y = 2 + d$ [mm]

即ち、位置ずれ量 Δx 、及び Δy は共通に、図3のテストストレッチル11Tにおける差分パターンユニット27の間隔(2mm)に、図4のボックスマーク28, 30とボックスマーク29, 31との間隔dを加算したものである。

【0034】次に、図1のステップ105において、三重露光後のウエハ14の現像を行う。これにより、図7(a)の各計測点 $P_{i,j}$ に対応するウエハ14上の計測領域35(i, j)にそれぞれ図6に示すようなボックス・イン・ボックスマーク像36及び37が形成される。図6において、計測領域35(i, j)には、X方向用のボックスマーク28, 29の各像28W, 29Wが重なったボックス・イン・ボックスマーク像37と、Y方向用のボックスマーク30, 31の各像30W, 31Wが重なったボックス・イン・ボックスマーク像36とが形成されている。

【0035】但し、実際には、1回目の露光でウエハ14上のショット領域32A～32Fに形成された11行×11列の差分パターンユニット27の像の内、x方向に Δx だけずらしたX露光によりボックス・イン・ボッ

クスマーク像37が形成されるのは、各行で2列～11列までの11行×10列の差分パターンユニットである。同様に、y方向に Δy だけずらしたY露光によりボックス・イン・ボックスマーク像36が形成されるのは、1行～10行の各列よりなる10行×11列の差分パターンユニットである。

【0036】次に、ステップ106において、高精度のレジストレーション測定機(座標測定機)を用いて、各計測領域35(i, j)において、ボックス・イン・ボックスマーク像37の外側の像28Wと内側の像29WとのX方向及びY方向への位置ずれ量 $X_{i,j}$ と、ボックス・イン・ボックスマーク像36の外側の像30Wと内側の像31WとのX方向及びY方向への位置ずれ量 $Y_{i,j}$ とを計測する。位置ずれ量 $X_{i,j}$ 及び $Y_{i,j}$ はそれぞれベクトルである。この場合、X露光で形成されたボックス・イン・ボックスマーク像37の位置ずれ量 $X_{i,j}$ は、左右(図7(a)のX方向)の隣り合う2つの計測点のディストーション(ベクトル) $D_{i,j+1}$, $D_{i,j}$ の差を表し、Y露光で形成されたボックス・イン・ボックスマーク像36の位置ずれ量 $Y_{i,j}$ は、上下(図7(a)のY方向)の隣り合う2つの計測点のディストーション(ベクトル) $D_{i,j}$, $D_{i+1,j}$ の差を表している。従って、以下の関係が成立する。

$$\begin{aligned} \text{【0037】} X_{i,j} &= D_{i,j+1} - D_{i,j}, \\ Y_{i,j} &= D_{i,j} - D_{i+1,j} \end{aligned}$$

次に、ステップ107において、図7(a)の各計測点 $P_{i,j}$ でのディストーションのX成分を求める。具体的に、例えば計測点 $P_{6,6}$ を基準点(ディストーションが0の位置)として、その右隣の計測点 $P_{6,7}$ でのディストーションを求めるものとする。その計測点 $P_{6,7}$ でのディストーションは、計測点 $P_{6,6}$ から計測点 $P_{6,7}$ までの任意の経路中の全ディストーション差 $X_{i,j}$, $Y_{i,j}$ を加算することで求められる。この場合の経路はただ1つのみではなく、いくつも存在する。

【0038】図7(b)は、計測点 $P_{6,6}$ から計測点 $P_{6,7}$ までの2通りの経路38及び39を示す。それらディストーション差 $X_{i,j}$, $Y_{i,j}$ は、上述のようにレジストレーション測定機等で求められるが、その際の計測値には当然所定の計測誤差が含まれるため、加算するディストーション差の個数が多いほど、求められるディストーション値の誤差も大きくなる。そこで、従来の差分法では例えば最短の経路に沿ってディストーション差を加算することにより、小さい計測誤差でディストーションを算出していた。

【0039】これに対して、本実施例では、複数の経路を使って複数のディストーション値を求め、それらをうまく加重平均することで、最短の1つの経路のみでディストーション値を算出する場合よりも小さな計測誤差でディストーション値を求めることができる。以下、その本実施例のディストーションの算出方法について述べ

る。

【0040】本実施例でも、図7(a)において、計測点 $P_{6,6}$ を基準に取り、他の任意の計測点 $P_{i,j}$ でのディストーション $D_{i,j}$ のX成分 $D_{x i,j}$ を求める。上述のディストーション差 $X_{i,j}$ は $X_{1,1} \sim X_{11,10}$ までの110個のベクトル量であり、ディストーション差 $Y_{i,j}$ は $Y_{1,1} \sim Y_{10,11}$ までの110個のベクトル量である。そして、計測点 $P_{i,j}$ でのディストーション $D_{i,j}$ のX成分 $D_{x i,j}$ を求めるためには、これら全部で220個のディストーション差のベクトル $X_{i,j}$ 及び $Y_{i,j}$ の内の、それぞれのX成分 $X_{x i,j}$ 及び $Y_{x i,j}$ のみを使う。

【0041】また、以下の計算においては、全部で22*

$$D_{x i,j} = \sum_{k=1}^{11} \sum_{m=1}^{10} W_{x k,m} X_{x k,m} + \sum_{k=1}^{10} \sum_{m=1}^{11} W_{y k,m} Y_{x k,m}$$

【0043】

【数2】

$$\varepsilon_{i,j}^2 = \left\{ \sum_{k=1}^{11} \sum_{m=1}^{10} W_{x k,m}^2 + \sum_{k=1}^{10} \sum_{m=1}^{11} W_{y k,m}^2 \right\} \sigma^2$$

【0044】そして、この(数2)の総誤差量の自乗 $\varepsilon_{i,j}^2$ を最小にするように重み $w_{x i,j}$ 、 $w_{y i,j}$ を全て求める。ここで、重み $w_{x i,j}$ 、 $w_{y i,j}$ が満足しなければならない条件を与える。この場合の前提は、計測点 $P_{i,j}$ のディストーションは、計測点 $P_{6,6}$ 以外の全ての点のディストーション値がどうであろうと、いっさいその影響を受けるものであってはならないということである。従って、任意の計測点 $P_{k,n}$ において、左右上下の各計測点間のディストーション差 $X_{x k,n-1}$ 、 $X_{x k,n}$ 、 $Y_{x k-1,n}$ 、 $Y_{x k,n}$ にかかる重み $w_{x k,n-1}$ 、 $w_{x k,n}$ 、 $w_{y k-1,n}$ 、 $w_{y k,n}$ が満足しなければならない条件は以下の式で与えられる。

【0045】

【数3】

$$-w_{x k,n-1} + w_{x k,n} + w_{y k-1,n} - w_{y k,n} = 0$$

但し、その計測点 $P_{k,n}$ が周辺部にあり、一方に隣接するディストーション差がない(計測されていない)場合※

$$\varepsilon_{i,j}^2 = \left\{ \sum_{k,n} \sum_{k',m'} A(k,m,k',m') w_{x k,m} w_{x k',m'} \right\} \sigma^2$$

【0049】この(数6)において、定数 $A(k,m,k',m')$ は、添字 k,m,k',m' に応じて定まる数であり、添字 k,k' はそれぞれ1から11までの値を取る整数であり、添字 m,m' はそれぞれ1から10までの値を取る整数である。(数6)の総誤差量の自乗 $\varepsilon_{i,j}^2$ を最小にする重み $w_{x i,j}$ 、 $w_{y i,j}$ を求めるには、100個の重み $w_{x i,j}$ 、 $w_{y i,j}$ でそれぞれ(数6)を偏微分した結果を0と置いた100個の連立方程式を解けばよい。これにより、100個の重み $w_{x i,j}$ 、 $w_{y i,j}$ の値が求められる。これらを(数3)～(数5)に代入することにより、残りの120個の重み $w_{x i,j}$ 、 $w_{y i,j}$ の値が求められる。

*0個のディストーション差のベクトル量の各成分が、全て同じ誤差(計測誤差) σ を含んでいることを前提とする。まず、ディストーション差 $X_{i,j}$ のX成分 $X_{x i,j}$ に対してそれぞれ重み $w_{x i,j}$ を付与し、且つディストーション差 $Y_{i,j}$ のX成分 $Y_{x i,j}$ に対してそれぞれ重み $w_{y i,j}$ を付与し、計測点 $P_{i,j}$ でのディストーション $D_{i,j}$ のX成分 $D_{x i,j}$ を次の(数1)の加重加算で表す。但し、重み $w_{x i,j}$ 、及び $w_{y i,j}$ は全部の和が1になるように規格化されている。更に、求められたディストーションのX成分 $D_{x i,j}$ に含まれる総誤差量 $\varepsilon_{i,j}$ を次の(数2)で表す。

【0042】

【数1】

※には、その重みとしては0を代入する。また、計測点 $P_{k,n}$ が基準となる計測点 $P_{6,6}$ であるときには、(数3)に対応する条件は次のようになる。

【0046】

【数4】

$$-w_{x k,n-1} + w_{x k,n} + w_{y k-1,n} - w_{y k,n} = 1$$

また、計測点 $P_{k,n}$ がディストーションの計測対象としての計測点 $P_{i,j}$ であるときには、(数3)に対応する条件は次のようになる。

【0047】

【数5】

$$-w_{x k,n-1} + w_{x k,n} + w_{y k-1,n} - w_{y k,n} = -1$$

これら(数3)～(数5)の条件式は計測点の個数と等しい個数である121個得られるが、その内の1つは他の120個の条件式から自動的に決まってしまう。そこで、(数3)～(数5)の独立な120個の条件式より、(数2)中の重み $w_{x i,j}$ 、 $w_{y i,j}$ を消去することで、(数2)は100(=220-120)個の重み $w_{x i,j}$ 、 $w_{y i,j}$ からなる次式に変換される。

【0048】

【数6】

$w_{x i,j}$ の値が求められる。

【0050】次に、図1のステップ108において、決定された220個の重み $w_{x i,j}$ 、 $w_{y i,j}$ を(数1)に代入して、加重平均により計測点 $P_{i,j}$ でのディストーション $D_{i,j}$ のX成分 $D_{x i,j}$ を求める。同様に、ステップ109において、計測点 $P_{i,j}$ のディストーション $D_{i,j}$ のY成分 $D_{y i,j}$ を求める。次に、ステップ110において、他の計測点でのディストーションを同様に求める。

【0051】本実施例の図7(a)に示す11行×11列のマトリックス状の計測点において、中心の計測点P

13

6.6 を基準とした場合、最外周の計測点 $P_{1,1}$ に関して図1のステップ108で算出されるディストーションの誤差は(数2)より 1.37σ 、即ちレジストレーション測定機の測定誤差 σ の 1.37 倍であることが分かっている。これに対して、従来の差分法を適用して1つの最短経路のみを用いて最外周の計測点 $P_{1,1}$ でのディストーションを算出した場合の誤差は、測定誤差 σ の 3.16 倍である。従って、本実施例の方法では、従来の差分法に比べて測定誤差が $1/2$ 以下になっていることが分かる。

【0052】次に、本発明の第2実施例につき説明する。この第2実施例では、第1実施例において220個のディストーション差のベクトル量 $X_{1,1}$ 、 $Y_{1,1}$ を求めるまで(図1のステップ106まで)は全く同じである。その後、本実施例では、求めた220個のディストーション差のベクトル量を、ディストーション差 $X_{1,1} \sim X_{11,10}$ のX成分 $X_{1,1} \sim X_{11,10}$ 、それらのY成分 $Y_{1,1} \sim Y_{11,10}$ 、ディストーション差 $Y_{1,1} \sim Y_{10,11}$ のX成分 $Y_{1,1} \sim Y_{10,11}$ 、及びそれらのY成分 $Y_{1,1} \sim Y_{10,11}$ の4つにグループ分けし、4つのグループ毎に平均値 $\langle X_{1,1} \rangle$ 、 $\langle X_{11,10} \rangle$ 、 $\langle Y_{1,1} \rangle$ 、 $\langle Y_{10,11} \rangle$ を求める。そして、各グループの値から対応する平均値をそれぞれ差し引いて、新たな4つのグループ $X'_{1,1} \sim X'_{11,10}$ 、 $X'_{1,1} \sim X'_{11,10}$ 、 $Y'_{1,1} \sim Y'_{10,11}$ 、 $Y'_{1,1} \sim Y'_{10,11}$ を求める。これは、0次成分除去プロセスと言えるものである。

【0053】その後は、新たな4つのグループの値を用いて、第1実施例のステップ107以降と同様に(数2)の総誤差量の自乗が最小になるように各重みを決定した後、決定された重みを用いて(数1)よりディストーションを求める。但し、この場合の(数1)では、ディストーション差の成分 $X_{1,1}$ 、 $Y_{1,1}$ はそれぞれ新たな成分 $X'_{1,1}$ 、 $Y'_{1,1}$ に置き換えられている。この第2実施例で求められたディストーションは、0次成分除去プロセスを施された差分量 $X'_{1,1}$ 、 $Y'_{1,1}$ から求められているため、1次成分、例えば倍率等の成分が除去された2次以上のディストーションである。また、図2のウエハステージが所定の位置決め誤差を有し、図1のステップ103のX露光、又はステップ104のY露光において位置決め誤差が生ずる場合でも、その位置決め誤差のオフセット成分、及び単純にX方向及びY方向の位置に比例して変化する成分は、この第2実施例では除去される。

【0054】次に、本発明の第3実施例につき説明する。この第3実施例でも、第1実施例において220個のディストーション差のベクトル量 $X_{1,1}$ 、 $Y_{1,1}$ を求めるまで(図1のステップ106まで)は全く同じである。その後、本実施例では、求めた220個のディストーション差のベクトル量を、ディストーション差 $X_{1,1} \sim X_{11,10}$ のX成分 $X_{1,1} \sim X_{11,10}$ 、それらのY成分

14

$X_{1,1} \sim X_{11,10}$ 、ディストーション差 $Y_{1,1} \sim Y_{10,11}$ のX成分 $Y_{1,1} \sim Y_{10,11}$ 、及びそれらのY成分 $Y_{1,1} \sim Y_{10,11}$ の4つにグループ分けし、4つのグループ毎に平均値 $\langle X_{1,1} \rangle$ 、 $\langle X_{11,10} \rangle$ 、 $\langle Y_{1,1} \rangle$ 、 $\langle Y_{10,11} \rangle$ 、及び線形成分を求める。線形成分とは、X方向への倍率誤差(スケーリング)、Y方向へのスケーリング、微少な回転誤差、及びX軸とY軸との微少な直交度誤差に起因する誤差成分である。

【0055】具体的に線形成分を求めるには、図7(a)においてディストーション差 $X_{6,6}$ のステージ座標系(X, Y)上での座標として、計測点 $P_{6,6}$ と $P_{6,7}$ との midpoint の座標を取り、同様に他のディストーション差 $X_{1,1}$ 、 $Y_{1,1}$ の座標としても差分を取る2つの計測点の midpoint の座標を使用する。そして、そのステージ座標系(X, Y)での座標から対応するディストーション差のベクトルを求める関数を2行×2列の変換行列、及び2行×1列のオフセット行列で表し、最小自乗法的にその変換行列の要素を構成する4個のパラメータ(X方向のスケーリング、Y方向のスケーリング、回転、直交度)、及びオフセット行列を構成する2個のオフセットを求める。その後、実際に計測されたディストーション差から、それらの変換行列及びオフセット行列を用いて算出されるディストーション差を差し引いて得られる残差成分が、平均値及び線形成分を除去した結果である。

【0056】このように、各グループのディストーション差の値から対応する平均値及び線形成分をそれぞれ差し引いて、新たな4つのグループ $X''_{1,1} \sim X''_{11,10}$ 、 $X''_{1,1} \sim X''_{11,10}$ 、 $Y''_{1,1} \sim Y''_{10,11}$ 、 $Y''_{1,1} \sim Y''_{10,11}$ を求める。これは、1次成分除去プロセスとも言えるものである。その後は、新たな4つのグループの値を用いて、第1実施例のステップ107以降と同様に(数2)の総誤差量の自乗が最小になるように各重みを決定した後、決定された重みを用いて(数1)よりディストーションを求める。但し、この場合の(数1)では、ディストーション差の成分 $X_{1,1}$ 、 $Y_{1,1}$ はそれぞれ新たな成分 $X''_{1,1}$ 、 $Y''_{1,1}$ に置き換えられている。この第3実施例で求められたディストーションは、1次成分除去プロセスを施された差分量 $X''_{1,1}$ 、 $Y''_{1,1}$ から求められているため、1次成分、及び2次成分を含まない3次以上のディストーションである。第2実施例と同様に、図2のウエハステージが所定の位置決め誤差を有し、図1のステップ103のX露光、又はステップ104のY露光において位置決め誤差が生ずる場合でも、その位置決め誤差のオフセット成分、線形成分、及び2次成分(位置の自乗で表される成分)は、この第3実施例では除去される。

【0057】次に、本発明の第4実施例につき図8を参照して説明する。本実施例では分かり易くするため、図7(a)のように11行×11列の計測点 $P_{1,1} \sim P_{11,11}$ を使用する代わりに、図8に示すように、全部で

15

3行×3列の計測点 $P_{1,1} \sim P_{3,3}$ がある場合を扱う。この場合、中心の計測点 $P_{2,2}$ を原点O（基準点）として、この原点Oでのディストーションを0とみなす。そして、その周囲にディストーションにより理想格子点から微小量ずれた8個の計測点 $P_{1,1} \sim P_{3,3}$ があり、第1列の計測点 $P_{1,1} \sim P_{3,1}$ とX方向にずれた第2列の計測点 $P_{1,2} \sim P_{3,2}$ とのディストーション差をそれぞれ X_1, X_3, X_5 とし、第2列の計測点 $P_{1,2} \sim P_{3,2}$ とX方向にずれた第3列の計測点 $P_{1,3} \sim P_{3,3}$ とのディストーション差をそれぞれ X_2, X_4, X_6 とする。同様に、第1行の計測点 $P_{1,1} \sim P_{1,3}$ とY方向にずれた第2行の計測点 $P_{2,1} \sim P_{2,3}$ とのディストーション差をそれぞれ Y_1, Y_2, Y_3 とし、第2行の計測点 $P_{2,1} \sim P_{2,3}$ とY方向にずれた第3行の計測点 $P_{3,1} \sim P_{3,3}$ とのディストーション差をそれぞれ Y_4, Y_5, Y_6 とする。

【0058】このとき、それらディストーション差がそれぞれ計測誤差（標準偏差） σ を含むものとして、計測点 $P_{2,3}$ でのディストーション（理想格子点からのずれ量）のベクトル量 $D_{2,3}$ を総誤差量が最小になるという条件下で求める。従来の差分法でディストーションD *

$$D_{2,3} = w_1 \cdot X_1 + \dots + w_6 \cdot X_6 + w_7 \cdot Y_1 + \dots + w_{12} \cdot Y_6$$

このとき、（数2）に対応する総誤差量 $\varepsilon_{2,3}$ の自乗は次式で表される。

$$\varepsilon_{2,3}^2 = (w_1^2 + \dots + w_6^2 + w_7^2 + \dots + w_{12}^2) \cdot \sigma^2$$

この総誤差量 $\varepsilon_{2,3}$ が最小となるように重み $w_1 \sim w_{12}$ を決定すればよい。これら重み $w_1 \sim w_{12}$ はそれぞれ独立に決めることはできない。例えば、計測点 $P_{1,1}$ に着目してみると、ディストーション差 X_1 は計測点 $P_{1,1}$ の理想格子点からのディストーション $D_{1,1}$ と計測点 $P_{1,2}$ のディストーション $D_{1,2}$ との差分、ディストーション差 Y_1 は計測点 $P_{1,1}$ のディストーション $D_{1,1}$ と計測点 $P_{2,1}$ のディストーション $D_{2,1}$ との差分である。従って、ディストーション $D_{1,1}$ の大小に応じてデ★

$$\text{計測点 } P_{1,2} \text{ に関して: } -w_1 + w_2 - w_8 = 0,$$

$$\text{計測点 } P_{1,3} \text{ に関して: } -w_2 - w_9 = 0,$$

$$\text{計測点 } P_{2,1} \text{ に関して: } +w_3 + w_7 - w_{10} = 0,$$

$$\text{原点Oに関して: } -w_3 + w_4 + w_8 - w_{11} = 1,$$

$$\text{計測点 } P_{2,3} \text{ に関して: } -w_4 + w_9 - w_{12} = -1,$$

$$\text{計測点 } P_{3,1} \text{ に関して: } +w_5 + w_{10} = 0,$$

$$\text{計測点 } P_{3,2} \text{ に関して: } -w_5 + w_6 + w_{11} = 0,$$

$$\text{計測点 } P_{3,3} \text{ に関して: } -w_6 + w_{12} = 0$$

【0063】以上をまとめると次の（数9）が得られる。

* $_{2,3}$ を求めるには様々の経路があり、経路の取り方によって誤差も違ってくる。例えば原点Oから+X方向にまっすぐに計測点 $P_{2,3}$ まで経路を取れば、 $D_{2,3} = X_4$ 、且つ誤差 $=\sigma$ となり、原点Oから計測点 $P_{1,2}$ 及び $P_{1,3}$ を経由して計測点 $P_{2,3}$ に至る経路を取れば、 $D_{2,3} = q_2 + p_2 - q_3$ 、且つ誤差 $=3^{1/2} \sigma$ となる。

【0059】また、両者を $1/(\text{誤差})^2$ の重みで加重平均すると更に精度が向上し、 $D_{2,3} = (3p_4 + q_2 + p_2 - q_3)/4$ 、誤差 $= (3/4)^{1/2} \sigma$ となる。仮に考え得る全ての経路を使って同様の計算を行えば、最小の誤差でディストーション $D_{2,3}$ を求めることができる。このような計算は、3行×3列ならばそれ程困難ではないが、計測点の個数が多くなるとその労力は計り知れない。そこで、以下のように各ディストーション差 $X_1 \sim X_6, Y_1 \sim Y_6$ に対して重み $w_1 \sim w_{12}$ を付与し、（数1）に対応させてディストーション $D_{2,3}$ を次の加重加算で表す。

【0060】

【数7】

※【0061】

※【数8】

★イストーション差 X_1, Y_1 の値も変化するわけで、求めるべきディストーション $D_{2,3}$ とは無関係なディストーション $D_{1,1}$ の大小の影響を受けないためには、重み w_1 及び w_7 が同じ値である必要がある。つまり、（数3）に対応する次の条件が成立する必要がある。

【0062】

$$\text{計測点 } P_{1,1} \text{ に関して: } +w_1 - w_7 = 0$$

残る8個の計測点についても、（数3）～（数5）に対応して次の条件を満たす必要がある。

【0064】

【数9】

17

$$\begin{bmatrix}
 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\
 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \\ w_5 \\ w_6 \\ w_7 \\ w_8 \\ w_9 \\ w_{10} \\ w_{11} \\ w_{12}
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0
 \end{bmatrix}$$

18

【0065】これから12個の重み $w_1 \sim w_{12}$ 中の8個の重みが消去できる。即ち、8個の重み $w_1 \sim w_7$, w_{10} が、残りの4個の重み w_8 , w_9 , w_{11} , w_{12} を用いて次式で表される。

【0066】

【数10】

$$\begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \\ w_5 \\ w_6 \\ w_7 \\ w_{10} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 1 & 1 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_8 \\ w_9 \\ w_{11} \\ w_{12} \end{bmatrix}$$

20

【0067】重みに関する条件式が9個あるのに、(数10)に示すように8個の重みしか消去できないのは、重みに関する8個の条件式が決まると残りの1個の条件式が自動的に決まってしまうからである。(数10)を(数8)に代入すると、総誤差量 $\varepsilon_{2,3}$ は次のように4

【0068】

$$\begin{aligned}
 \text{【数11】 } \varepsilon_{2,3}^2 &= (4w_8^2 + 6w_9^2 + 4w_{11}^2 + 6w_{12}^2 + 6w_8 \cdot w_9 - 2w_9 \cdot w_{11} + 6w_{11} \cdot w_{12} - 2w_{12} \cdot w_8 - 2w_8 \cdot w_{11} - 4w_9 \cdot w_{12} + 2w_9 - 2w_{12}) \cdot \sigma^2
 \end{aligned}$$

この総誤差量の自乗 $\varepsilon_{2,3}^2$ が最小になるように重み w_8 , w_9 , w_{11} , w_{12} を求めるには、それぞれで(数11)を微分した結果を0と置いて得られる4個の連立方程式である次式を解けばよい。

【0069】

【数12】

$$\begin{bmatrix} 3 & 6 & -1 & -2 \\ 4 & 3 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 4 & 3 \\ -1 & -2 & 3 & 6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_8 \\ w_9 \\ w_{11} \\ w_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

w_8 , w_9 , w_{11} , w_{12} を(数10)に代入することにより、次のように全ての重みが決定される。

【0071】

【数13】

$$\begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \\ w_5 \\ w_6 \\ w_7 \\ w_8 \\ w_9 \\ w_{10} \\ w_{11} \\ w_{12} \end{bmatrix} = \frac{1}{24} \times \begin{bmatrix} 1 \\ 5 \\ -2 \\ 14 \\ 1 \\ 5 \\ 1 \\ 4 \\ -5 \\ -1 \\ -4 \\ 5 \end{bmatrix}$$

【0072】これらの重みを(数7)及び(数8)に代入すると、求めるべきディストーション $D_{2,3}$ 及び総誤差量 $\varepsilon_{2,3}$ の自乗は以下になる。

【0073】

$$\begin{aligned}
 \text{【数14】 } D_{2,3} &= (p_1 + 5p_2 - 2p_3 + 14p_4 + p_5 + 5p_6 + q_1 + 4q_2 - 5q_3 - q_4 - 4q_5 + 5q_6) / 24
 \end{aligned}$$

【0074】

$$\text{【数15】 } \varepsilon_{2,3}^2 = (7/12) \cdot \sigma^2$$

これより、総誤差量 $\varepsilon_{2,3}$ は次のようになる。

【0075】

$$\text{【数16】 } \varepsilon_{2,3} = (7/12)^{1/2} \cdot \sigma$$

以上の方法を拡張することにより、計測点が増加しても総誤差量が最小になるときのディストーション、及びそのときの総誤差量を計算することができる。ところで、上述の各実施例の差分法は電気回路モデルに置き換えることができる。例えば図7(a)に示す計測点 $P_{1,1}$ の配列を電気回路とみなし、各計測点間にそれぞれ所定の抵抗があるものとみなす。このとき、基準点を $P_{6,6}$ として、計測対象点を $P_{6,7}$ として、基準点と計測対象点との間に電圧を印加すると、それら2点間を流れる電流は全系の消費電力 P が最小となるように流れる。このときの電気回路モデルにおける諸元と、上述実施例の差分

【0070】この(数12)から求められた4個の重み

【0076】各計測点間の抵抗値 r →各計測点間のディストーションの差分量の誤差の自乗(σ^2)、
2点間に単位電流を流したとき各計測点間の一辺を流れる電流 i →重み $w_{i1,0}, w_{i1,0}$ 、
単位電流当たりの系全体の消費電力 P/I 、即ち系全体の総抵抗 R →総誤差量の自乗($\varepsilon_{0,7}^2$)

【0077】なお、上述実施例では、主尺及び副尺としてボックス・イン・ボックスマークが使用されているが、それ以外に主尺及び副尺とし例えば十字パターンや、ライン・アンド・スペースパターン等を使用してもよい。また、モワレ縞の原理を応用して相対的な位置ずれ量を拡大できるようなマーク等を使用してもよい。更に、主尺及び副尺を1つの十字型のマーク等で兼用するようにしてもよい。この場合、X方向への横ずれ量に最大のディストーションを超えるようなオフセットを加えておくことにより、最初に露光されたマークと次に露光されたマークとを識別することができる。

【0078】このように本発明は上述実施例に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得る。

【0079】

【発明の効果】本発明によれば、任意の計測点でのディストーションを求める際に、主尺像と副尺像との相対的な位置ずれ量の計測誤差の総和が最小になるように定めた重みを用いて、全部の位置ずれ量の加重加算によりディストーションを求めているため、それら位置ずれ量を計測する際のレジストレーション測定機等の計測誤差が累積されることがなく、高精度にディストーションが算出できる利点がある。

【0080】因に、ディストーションの計測点が11行×11列の格子点に分布する場合、中心の計測点を基準として右上隅の計測点でのディストーションを本発明の方法で求めるときの総誤差量は、レジストレーション測定機等の計測誤差 σ の1.37倍である。これに対して、従来の差分法を適用して例えば1つの最短経路に沿ってディストーションを算出する場合の総誤差量は計測誤差 σ の3.16倍である。従って、本発明による計算方法では総誤差量が半分以下になる。

【0081】また、相対的な位置ずれ量から平均値を差し引いた結果に対して、上述の加重加算処理を施すことにより、多重露光する際のステージの位置に関して0次及び1次の位置決め誤差の影響、並びに投影光学系の倍率誤差の影響が排除され、2次以上のディストーションが求められる。更に、相対的な位置ずれ量から平均値及び線形成分を差し引いた結果に対して、上述の加重加算処理を施すことにより、多重露光する際のステージの位

置に関して0次、1次及び2次の位置決め誤差の影響、並びに投影光学系の倍率誤差等の影響が排除され、3次以上のディストーションが求められる。

【0082】また、重みに関して(A1)式の条件を課すことにより、正確に重みの値を決定できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明によるディストーション計測方法の第1実施例を示すフローチャートである。

【図2】実施例のディストーション計測方法が実施される投影露光装置を示す概略構成図である。

【図3】実施例で使用されるテストレチクルをウエハ上に投影した状態でのパターン配置を示す平面図である。

【図4】図3中の差分パターンユニット27のパターン配置を示す拡大平面図である。

【図5】実施例で三重露光が行われた後のウエハ14の表面のショット配列を示す平面図である。

【図6】図5中の計測領域35(i,j)内のボックス・イン・ボックスマーク像36、37の構成を示す拡大平面図である。

【図7】(a)は計測対象の投影光学系の露光フィールドを11行×11列の計測点で分割した状態を示す図、(b)は図7(a)内の一部を拡大して示す図である。

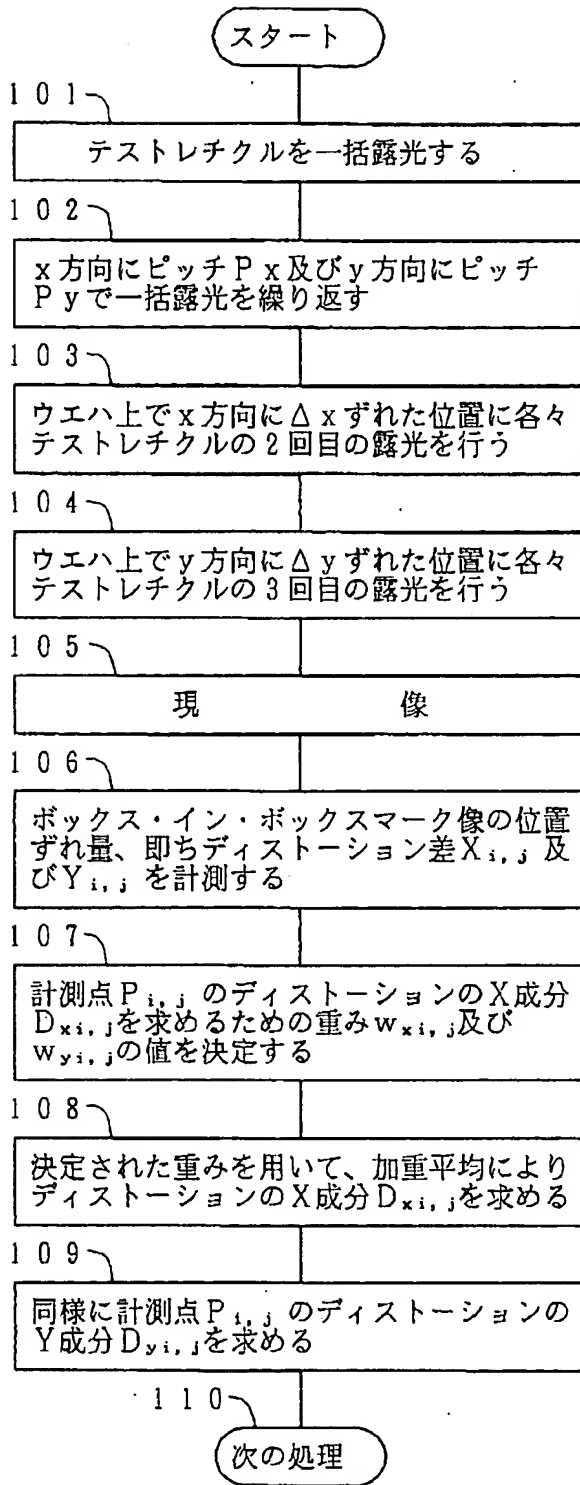
【図8】計測対象の露光フィールドを3行×3列の計測点で分割した状態を示す図である。

【図9】従来の差分法によりディストーションを求める手順の説明に供する図である。

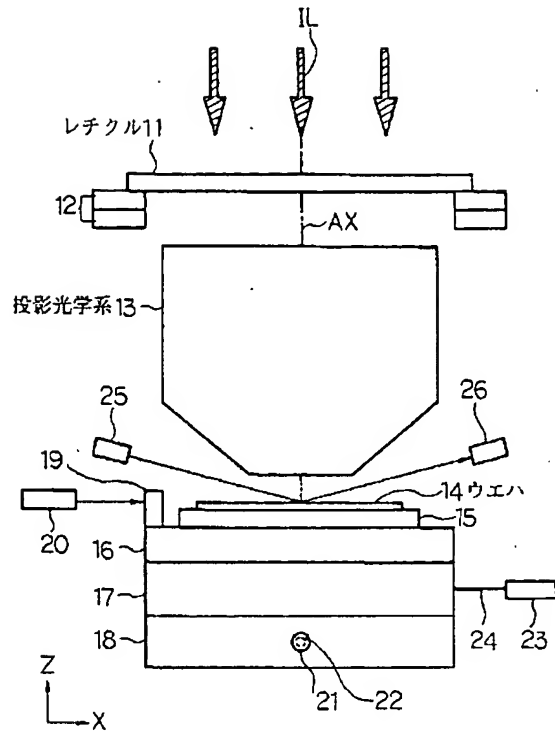
【符号の説明】

- 11 T テストレチクル
- 12 レチクルステージ
- 13 投影光学系
- 14 ウエハ
- 15 ウエハテーブル
- 16 Zステージ
- 17 Xステージ
- 18 Yステージ
- 20 干渉計
- 21, 23 駆動モータ
- 25 オートフォーカス系の送光系
- 26 オートフォーカス系の受光系
- 27 差分パターンユニット
- 28, 30 外側のボックスマーク
- 29, 31 内側のボックスマーク
- 35(i,j) 計測領域
- 36, 37 ボックス・イン・ボックスマーク像
- $P_{i,1} \sim P_{i,11}$ 計測点

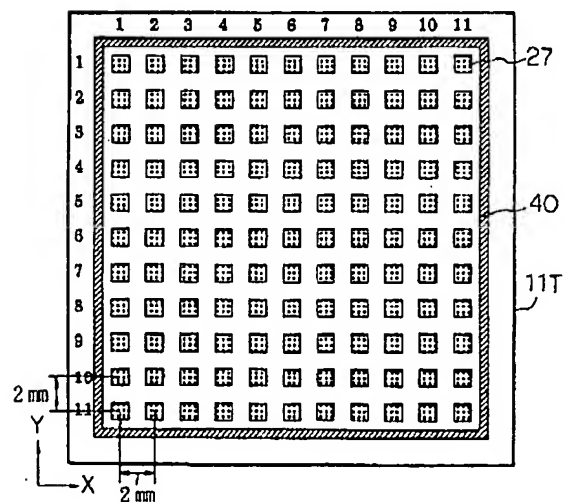
【図1】



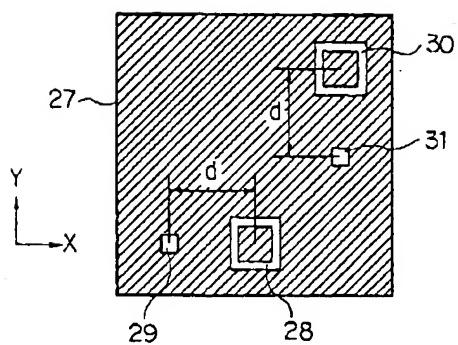
【図2】



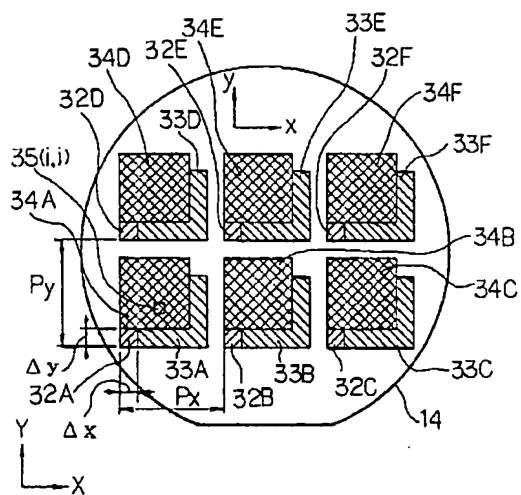
【図3】



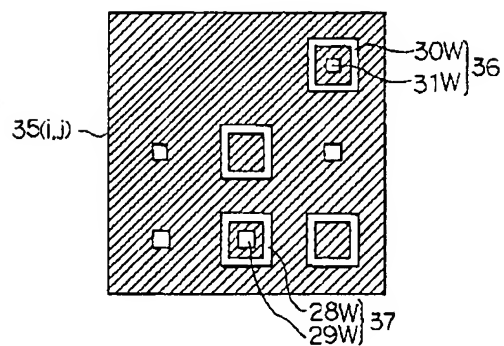
【図 4】



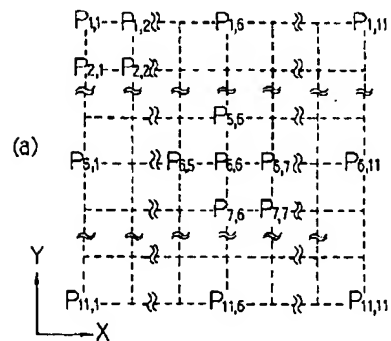
【図 5】



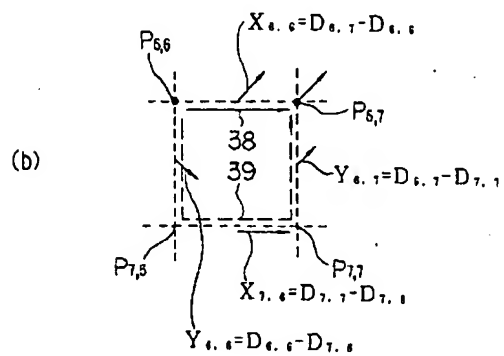
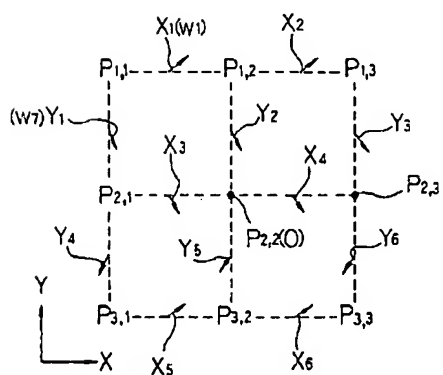
【図 6】



【図 7】



【図 8】



【図9】

